



PROPOSTA METODOLÓGICA PARA ANÁLISE DE VIABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA PURIFICADA NA ATENÇÃO PRIMÁRIA À SAÚDE

William S. Pereira¹; Maurício de Almeida Schmitt¹

¹ Universidade Luterana do Brasil, Curso de Engenharia Química.
williamsi.pereira@rede.ulbra.br ; mauricio.schmitt@ulbra.br

Palavras-Chave: Autoclaves, Gestão logística, Tecnologias hídricas

Introdução

A qualidade da água utilizada em estabelecimentos de saúde é um fator crítico para a segurança dos processos assistenciais, especialmente nas atividades de limpeza, desinfecção e esterilização de materiais. A esterilização por vapor saturado em autoclaves exige água com baixa concentração de sais minerais e impurezas para evitar a formação de resíduos sólidos, incrustações e a corrosão de resistências elétricas, preservando a vida útil dos equipamentos (SOUZA et al., 2021). Conforme a Resolução RDC nº 15/2012 da ANVISA, a água empregada no processamento de produtos para saúde deve atender a padrões rigorosos de qualidade.

No âmbito da gestão pública, garantir esse fornecimento de forma contínua e econômica é um desafio complexo. Tomando como cenário de análise o município de Canoas/RS, observa-se que o abastecimento de água purificada para a atenção primária, que abrange um total de 31 serviços de saúde, incluindo Unidades Básicas de Saúde (UBS), Centros de Saúde da Família (CSF), Centro de Especialidade Odontológica (CEO) e a UPA do Idoso, ocorre via aquisição de água destilada em recipientes de 5 L. O gerenciamento e a distribuição logística para toda essa rede são centralizados no almoxarifado central da Secretaria Municipal de Saúde. Contudo, o modelo de compras públicas atrelado à Lei de Licitações (Lei nº 14.133/2021) frequentemente apresenta limitações operacionais. A morosidade e a fragmentação dos certames induzem à formação de estoques elevadíssimos e descolados da demanda real, gerando iminente risco de perda por validade e submetendo a administração a flutuações de preços.

Diante deste cenário, e observando iniciativas bem-sucedidas no setor público, como a central de produção do hospital veterinário de Resende/RJ e a estação de produção de água desionizada do Centro de Energia Nuclear na Agricultura da USP (TAVARES et al., 2004), surge a necessidade de avaliar alternativas que proporcionem maior autonomia. Embora a adoção de sistemas próprios de purificação seja uma prática consolidada em ambientes hospitalares para consumo interno (STÜKER et al., 2022), a sua aplicação de forma centralizada para abastecer múltiplos estabelecimentos municipais ainda é pouco explorada.

Nesse contexto, o presente trabalho diferencia-se ao propor e aplicar uma metodologia estruturada em quatro eixos para a análise de viabilidade e dimensionamento de uma central própria de produção hídrica. Por meio de um estudo de caso aplicado na rede municipal de Canoas/RS, utilizando dados administrativos reais de consumo e aquisição, a pesquisa diagnostica as falhas do modelo logístico atual e confronta o abastecimento externo com a viabilidade técnica, econômica e operacional das tecnologias de destilação, osmose reversa e deionização, configurando uma excelente oportunidade de inovação estratégica na gestão da saúde pública.



Material e Métodos

A pesquisa caracteriza-se como um estudo teórico-exploratório, voltado à construção de uma proposta metodológica aplicada. O desenvolvimento estruturou-se a partir da revisão técnica das tecnologias de purificação (destilação, deionização e osmose reversa) e de desinfecção complementar (radiação ultravioleta e ozonização). Com base nessa fundamentação, elaboraram-se os fluxogramas operacionais que compõem a diretriz de centralização.

A proposta estabelece um fluxo de diagnóstico dividido em quatro eixos centrais, delineados na Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de variáveis para análise de viabilidade técnica e econômica

<i>Eixo de Análise</i>	<i>Variáveis a serem levantadas para o Diagnóstico</i>
1. Diagnóstico Logístico e Contratual	Volume mensal distribuído (em litros e galões); Periodicidade e morosidade dos processos licitatórios; Histórico de flutuação de preços; Risco associado à troca frequente de fornecedores externos.
2. Mapeamento Tecnológico	Levantamento do parque de autoclaves nos serviços de saúde (marcas e modelos); Capacidade volumétrica das câmaras; Frequência de utilização diária; Cálculo do consumo real de água por ciclo de esterilização.
3. Viabilidade Econômica e Financeira	CAPEX: Investimento em equipamentos de purificação, desinfecção e infraestrutura. OPEX: Despesas operacionais (energia, insumos, manutenção e recursos humanos). TCO (Total Cost of Ownership): Custo total de propriedade ao longo da vida útil do sistema. Depreciação Patrimonial e Valor Residual: Cálculo contábil da perda de valor e planejamento de reposição. Payback: Período de recuperação do investimento.
4. Controle de Qualidade e Segurança Sanitária	Monitoramento de parâmetros físico-químicos (condutividade, pH, turbidez) e microbiológicos; Custos atrelados a análises laboratoriais recorrentes; Adequação rigorosa à RDC nº 15/2012 da ANVISA.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026).



A primeira etapa (Eixo 1) exige o mapeamento do modelo atual de aquisições no almoxarifado central, identificando gargalos do abastecimento. A segunda etapa (Eixo 2) fundamenta o dimensionamento do sistema, pois a capacidade e a variação das autoclaves determinam a demanda de pico de produção.

A viabilidade financeira (Eixo 3) deve ser comprovada calculando-se CAPEX, OPEX, TCO e *Payback*. O cálculo da depreciação atende às normas da contabilidade pública, permitindo à administração projetar a futura substituição tecnológica. Por fim, o Eixo 4 consolida a segurança do projeto, determinando que os custos com análises laboratoriais sejam integrados ao planejamento financeiro, assegurando que a água produzida atenda integralmente à legislação e proteja a atenção primária.

Resultados e Discussão

A aplicação do Eixo 1 (Diagnóstico Logístico) em Canoas/RS validou a urgência da proposta de centralização. O histórico de suprimentos da Secretaria de Saúde, baseado em relatórios operacionais internos e corroborado pelo Diário Oficial do Município (CANOAS, 2026), revelou distorções críticas entre consumo real, volume estocado e flutuação de preços, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Histórico de aquisição de água destilada (galões de 5L)

<i>Ano</i>	<i>Volume Adquirido (Unidades)</i>	<i>Valor Unitário (R\$)</i>	<i>Observações Logísticas e Contratuais</i>
2023	1.300	9,60	Formação inicial de sobreestoque.
2024	1.000	14,75	Salto de 53,6% no preço unitário em 12 meses.
2025	1.300 (Total)	10,08 e 14,75	Valores distintos no mesmo ano devido à fragmentação de certames (insumos de enfermagem vs. odontológicos).
2026	0 (Até o momento)	-	Suspensão de compras pelo alto estoque acumulado; risco iminente de perda por validade (2 anos).

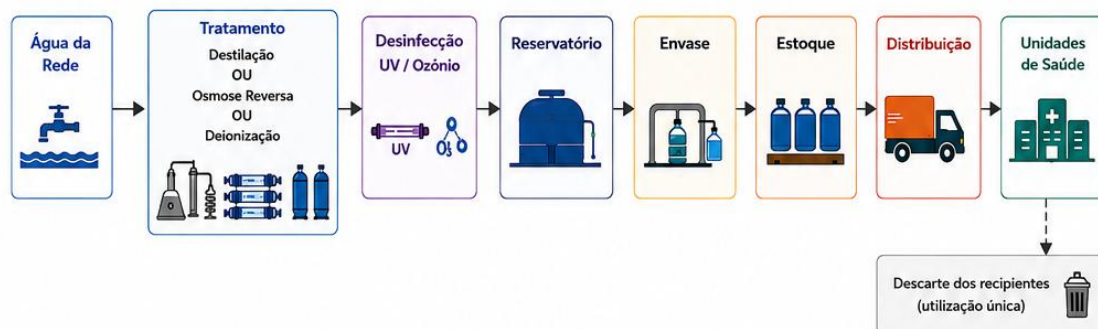
Fonte: Elaborado pelos autores (2026) a partir de dados operacionais do almoxarifado central e publicações do Diário Oficial do Município (CANOAS, 2026).

Os dados provam a ineficiência da aquisição externa. O consumo da atenção primária é 70 galões/mês (350 L), totalizando 840 galões anuais. Contudo, licitações de 2023 a 2025 injetaram de 1.000 a 1.300 galões/ano no almoxarifado, gerando alto estoque com risco de descarte, pois a validade do envase é de apenas 2 anos. Além do risco físico, a fragmentação das compras gerou ineficiência financeira: em 2025, o município pagou R\$ 10,08 e R\$ 14,75 pelo mesmo galão em certames distintos.

Para sanar esses gargalos e adequar a produção à demanda exata, estruturaram-se quatro arranjos operacionais, variando quanto à desinfecção complementar e ao modelo logístico dos recipientes, conforme delineado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxogramas dos sistemas propostos

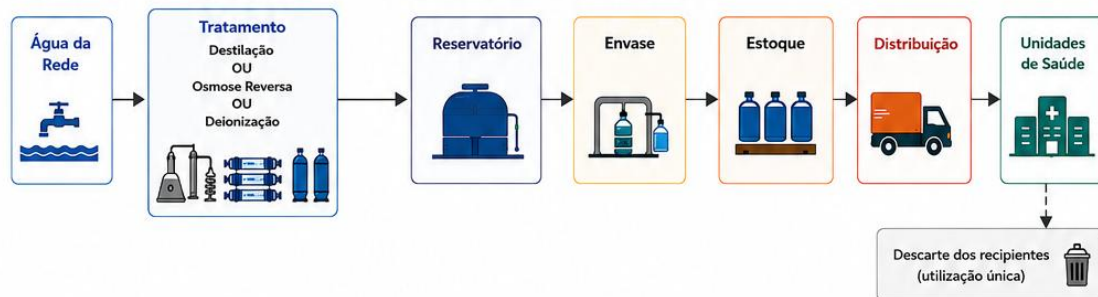
A) SISTEMA 1 – COM DESINFECÇÃO – RECIPIENTE NÃO RETORNA (DESCARTÁVEL)



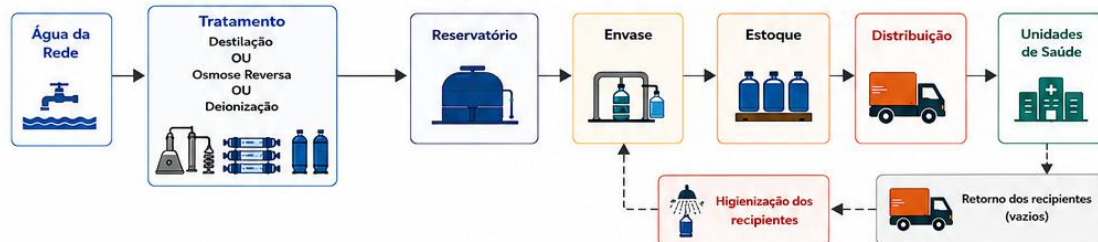
B) SISTEMA 2 – COM DESINFECÇÃO – RECIPIENTE RETORNA PARA HIGIENIZAÇÃO (REUTILIZÁVEL)



C) SISTEMA 3 – SEM DESINFECÇÃO – RECIPIENTE NÃO RETORNA (DESCARTÁVEL)



D) SISTEMA 4 – SEM DESINFECÇÃO – RECIPIENTE RETORNA PARA HIGIENIZAÇÃO (REUTILIZÁVEL)



Fonte: Autores (2026).

A análise dos fluxogramas revela que o Sistema 1 integra o tratamento de desmineralização à desinfecção por UV ou ozônio, utilizando recipientes descartáveis. O Sistema 2 adota a mesma configuração de purificação, porém emprega recipientes reutilizáveis, exigindo a estruturação de logística reversa e higienização padronizada.

Os Sistemas 3 e 4 replicam essas dinâmicas logísticas sem a etapa de desinfecção complementar. A análise técnica comparativa das tecnologias de tratamento de base que alimentariam essas centrais revelou impactos operacionais distintos para a gestão municipal, sintetizados na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparativo técnico das tecnologias de purificação de água para autoclaves

<i>Tecnologia</i>	<i>Descarte de Água (Rejeito)</i>	<i>Consumo Energético (A cada 1.000 Litros / 1 m³)</i>	<i>Principal Vantagem</i>	<i>Desvantagens / Cuidados Operacionais</i>
Destilação	Alto: 15 a 50 L descartados para cada 1 L produzido	Alto: Aprox. 700 kW por m³ (0,7 kW a cada 1 L)	Elevada pureza e eficiência na remoção de não voláteis	Maior custo operacional; suscetível a incrustações na cuba
Osmose Reversa	Médio: 3 L rejeitados para cada 1 L permeado	Baixo: Aprox. 6 kWh por m³	Alta eficiência na remoção de sólidos dissolvidos	Exige pré-tratamento rigoroso da água para evitar fouling das membranas
Deionização	Baixo: Reduz em até 40% a captação de água (em comparação à destilação)	Baixo: Evita o elevado gasto com aquecimento, sendo significativamente inferior à destilação	Alta pureza iônica; viabilidade econômica frente à destilação	Resinas propiciam proliferação bacteriana (exige desinfecção por UV/Ozônio)

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base na revisão bibliográfica.

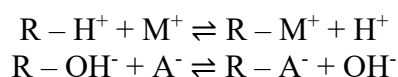
Como demonstrado na Tabela 3, tecnologias como a deionização e a osmose reversa apresentam vantagens econômicas e ambientais significativas frente à destilação tradicional. Do ponto de vista da engenharia química, o impacto hídrico pode ser quantificado pelo balanço de massa global do sistema no estado estacionário, expresso pela equação:

$$Q_f = Q_p + Q_r$$

Onde Q_f é a vazão de alimentação, Q_p é a vazão de permeado e Q_r é a vazão de rejeito. A destilação chega a rejeitar até 50 litros para cada litro produzido, exigindo uma captação alarmante de água da rede pública. A deionização, por sua vez, opera sem resistências de aquecimento e evita esse descarte, reduzindo em cerca de 40% o volume geral de captação de água (TAVARES et al., 2004).



O processo de deionização opera por meio de mecanismos físico-químicos de troca iônica, através da substituição de cátions (M^+) e ânions (A^-) presentes na água bruta por íons hidrogênio e hidroxila das resinas (R), conforme as reações:



A subsequente neutralização dos íons liberados resulta na formação de água pura ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$). Contudo, como as resinas e membranas exigem cuidados e criam ambiente propício à proliferação bacteriana, a adoção dos Sistemas 1 e 2 (com UV ou Ozônio) torna-se praticamente obrigatória para evitar a contaminação microbiológica (KARWOWSKA et al., 2021). No âmbito logístico, a escolha por recipientes de retorno (Sistemas 2 e 4) anularia a dependência de processos licitatórios para a compra de galões, mas demanda Procedimentos Operacionais Padrão (POPs) rigorosos de higienização no almoxarifado, cumprindo as normativas sanitárias da ANVISA.

Para materializar o impacto energético (Eixo 3), realizou-se uma projeção do consumo elétrico para suprir a demanda municipal exata de 350 litros mensais, projetada na Tabela 4.

Tabela 4 - Projeção de consumo elétrico mensal para a demanda municipal (350 Litros/mês)

<i>Tecnologia</i>	<i>Cálculo Base de Consumo (por Litro)</i>	<i>Consumo Elétrico Mensal Estimado (Para produzir 350 L)</i>	<i>Impacto Operacional (OPEX)</i>
Destilação	0,700 kWh por litro produzido	245 kWh / mês	Altíssimo impacto na conta de energia da unidade produtora.
Osmose Reversa	0,006 kWh por litro produzido (6 kWh / 1.000 L)	2,1 kWh / mês	Redução superior a 99% no gasto energético comparado à destilação.
Deionização	Inexpressivo (não utiliza aquecimento por resistências)	≈ 0 kWh / mês (Apenas alimentação do painel de controle)	Menor OPEX elétrico entre as alternativas avaliadas.

Fonte: Elaborado pelos autores (2026), com base na revisão bibliográfica.

A discrepância evidenciada na Tabela 4 é justificada pela termodinâmica intrínseca a cada processo. A destilação baseia-se na mudança de fase, exigindo que o sistema forneça energia térmica contínua para vencer o calor sensível e o elevado calor latente de vaporização da água, expresso no balanço entálpico:

$$Q = m \times c \times \Delta T + m \times \Delta H_{\text{vap}}$$

Onde (Q) é a energia térmica requerida, (m) a massa de água, (c) o calor específico e (ΔH_{vap}) a entalpia de vaporização.



Por necessitar romper as pontes de hidrogênio para vaporizar o fluido, o processo de destilação consome 0,7 kW para cada litro de água (MENDONÇA; MARTINS, 2023), totalizando expressivos 245 kWh mensais para suprir a rede municipal. Em contraste, a osmose reversa é um processo de separação a frio que apresenta um custo energético drasticamente menor, consumindo apenas 6 kWh para purificar 1.000 litros (FRISCHKORN, 2016), o que reflete nos irrisórios 2,1 kWh projetados para Canoas.

Contudo, a análise de viabilidade tecnológica no setor público transcende a eficiência termodinâmica e elétrica. Sob a ótica da rotina dos servidores e da gestão de contratos, a destilação apresenta uma vantagem inegável: a robustez e a extrema simplicidade operacional. Enquanto sistemas a frio exigem a troca periódica de membranas e resinas saturadas, demandando rotinas rigorosas de manutenção e a abertura de novos processos de compra para esses insumos, o destilador possui operação facilitada e manutenção restrita basicamente à limpeza da cuba. Como o objetivo primário deste modelo metodológico é superar a ineficiência logística, a tomada de decisão final do gestor público deverá avaliar o *trade-off* (relação de compromisso) entre o maior custo elétrico da destilação e o maior nível de exigência técnica e contratual dos sistemas de osmose e deionização.

Conclusões

A modelagem metodológica estruturada neste trabalho evidencia que a transição de um modelo dependente de licitações externas para uma produção própria municipal é tecnicamente viável e estrategicamente promissora. Conclui-se que a aplicação dos quatro eixos de diagnóstico propostos fornece aos gestores públicos uma diretriz segura, unindo a adequação sanitária da água à eficiência financeira exigida pela contabilidade pública. Do ponto de vista tecnológico e termodinâmico, sistemas como osmose reversa e deionização superam a destilação em eficiência hídrica e energética. No entanto, a destilação mantém-se como uma alternativa altamente pertinente para a realidade pública devido à sua robustez, exigindo menor nível de capacitação do quadro de pessoal e mitigando a dependência de contratos para a reposição contínua de membranas e resinas. Por fim, a implementação de uma central com fluxos logísticos de recipientes retornáveis exige rigor normativo maior frente à ANVISA, mas assegura um abastecimento ininterrupto, econômico e autônomo para a atenção primária à saúde.

Agradecimentos

À Universidade Luterana do Brasil pelo suporte acadêmico e à Secretaria Municipal de Saúde de Canoas pela autorização e disponibilização dos dados que viabilizaram esta pesquisa em gestão pública.



Referências

- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 15, de 15 de março de 2012**. Dispõe sobre requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde. Brasília: ANVISA, 2012.
- BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, 2021.
- CANOAS. Prefeitura Municipal. **Diário Oficial do Município de Canoas (DOMC)**. Edições de publicações de certames licitatórios e contratos administrativos. Canoas, Rio Grande do Sul, 2026.
- FRISCHKORN, H. Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará. **Revista Tecnologia**, 30(1), 61-76, 2016.
- KARWOWSKA, B. et al. Tratamento de água em conexão híbrida de processos de coagulação, ozonização, irradiação UV e adsorção. **Water**, 13(13), 1748, 2021.
- MENDES, M. E. A importância da qualidade da água reagente no laboratório clínico. **Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial**, 47(3), 217-223, 2011.
- MENDONÇA, J. K. A.; MARTINS, J. F. Desenvolvimento de um sistema de destilação de água em ciclo fechado e submetido à destilação de água com elevada dureza. **Revista Técnico-Científica do IFSC**, 13, 2023.
- PREFEITURA DE RESENDE. **Hospital veterinário ganha estação para produzir água destilada**. Resende, 2021.
- ROVANI, M. Z. **Estudo da osmose inversa na produção de água desmineralizada para caldeiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.
- SOUZA, R. Q.; RODRIGUES, S. B.; MIGUEL, E. A.; GRAZIANO, K. U. Fatores relacionados à qualidade do vapor para esterilização de produtos para saúde. **Revista SOBECC**, 26(4), 205-211, 2021.
- STÜKER, F. et al. Estudo microbiológico de amostras de água provenientes de farmácias e de centrais de materiais e esterilização hospitalares. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, 2022.
- TAVARES, G. A. et al. Implantação de uma estação de produção de água desionizada para uso nos laboratórios do CENA/USP empregando resinas de troca-iônica. **Revista Analytica**, 10, 36-42, 2004.
- VON GUNTEN, U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. **Water Research**, 37(7), 1443-1467, 2003.